

建筑工程系列书

钢筋混凝土与砖石结构

下 册

华南工学院建筑结构教研组 编

华南工学院出版社

建筑工程系列书

钢筋混凝土与砖石结构

下 册

华南工学院建筑结构教研组编

构
98

华南工学院出版社

内 容 提 要

本书是根据全国高等教育自学考试大纲编写的,分为上、下册出版。下册主要内容有预应力混凝土构件的计算、单层厂房结构、多层和高层房屋结构、房屋结构抗震设计要点和结构特点等。每章结合较多的例题进行阐述,并附有思考题和习题。文字浅显,通俗易懂,便于教学和自学。

本书可作工民建及有关土建类专业成人教育和全日制专科的教材或自学考试用书,也可供有关的设计、施工和科研工作者参阅。

建筑工程系列书

钢筋混凝土与砖石结构

华南工学院建筑结构教研组编

华南工学院出版社出版发行

(广州 五山)

广东省新华书店经销

广东番禺印刷厂印刷

787×1092 16开本 26.25印张(插页5) 649千字

1987年12月第1版 1987年12月第1次印刷

印数 1—9500册

ISBN 7-5623-0015-1/TU·5

统一书号15410·041 定价 4.50元

目 录

第十一章 预应力混凝土构件的计算	1
第一节 预应力混凝土的基本概念及一般计算规定	1
一 概念	1
二 预加应力的方法	2
三 锚具	3
四 预应力混凝土的材料	5
五 张拉控制应力	7
六 预应力损失	8
七 先张法预应力钢筋的传递长度	13
八 后张法预应力构件端部局部承压验算	14
第二节 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	18
一 轴心受拉构件各阶段截面的应力分析	18
二 轴心受拉构件使用阶段计算和验算	26
三 轴心受拉构件施工阶段的验算	27
第三节 预应力混凝土受弯构件的计算	30
一 受弯构件各阶段的应力分析	30
二 受弯构件使用阶段的强度计算	36
三 受弯构件使用阶段的抗裂度验算	40
四 受弯构件挠度验算	43
五 受弯构件施工阶段的验算	44
第四节 预应力混凝土构件的构造要求	46
一 一般规定	46
二 先张法构件的构造要求	49
三 后张法构件的构造要求	50
习 题	56
第十二章 单层厂房结构	57
第一节 概述	57
第二节 单层厂房结构的组成和受力分析	58
一 单层厂房结构的主要构件.....	58
二 单层厂房结构承受的主要荷载和荷载的传递路线	60
三 横向排架和纵向排架的受力分析	62
第三节 单层厂房的结构选型和结构布置	63
一 单层厂房结构的类型和选择	64

二	单层厂房平、剖面尺寸的确定	65
三	单层厂房主要构件的选型	72
四	单层厂房的支撑系统	84
五	抗风柱、圈梁、连系梁、过梁和基础梁的作用和布置原则	89
第四节	单层厂房排架计算	93
一	排架的计算简图和柱截面尺寸的确定	93
二	排架荷载计算	98
三	排架内力计算	107
四	排架内力组合	117
五	排架内力计算实例	129
六	排架考虑整体空间作用的计算	148
七	排架计算中的几个问题	155
第五节	单层厂房钢筋混凝土柱	157
一	矩形、工字形柱的设计	157
二	牛腿的设计	163
三	双肢柱的设计	172
四	抗风柱的设计	184
第六节	柱下单独基础	189
一	轴心受压单独基础的设计	189
二	偏心受压单独基础的设计	195
三	单独基础的构造要求	197
第七节	单层厂房屋盖结构	203
一	大型屋面板的构造和计算特点	203
二	檩条的设计	206
三	屋架的设计	217
四	天窗架、托架的设计要点	235
第八节	吊车梁	237
一	吊车梁的受力特点	237
二	钢筋和混凝土的疲劳性能	239
三	吊车梁的材料选用及构造要求	243
四	等截面吊车梁的计算要点	245
思考题		253
习 题		254
第十三章	多层与高层房屋结构	255
第一节	概述	255
第二节	多层与高层房屋的结构体系及结构布置	256
一	结构选型	256
二	结构体系	257
三	结构布置	264

四	多层与高层房屋水平位移的限制	277
第三节	多层与高层房屋的 荷载	278
一	楼面活荷载	278
二	风荷载	279
三	温度荷载	282
四	荷载组合	282
第四节	框架结构体系的杆件截面尺寸及计算简图	283
一	框架杆件的截面形状和截面尺寸	283
二	框架结构体系的计算简图	285
第五节	多层多跨框架结构的内力及 侧移计算	288
一	竖向荷载作用下的内力近似计算——分层计算法	289
二	竖向荷载作用下的内力近似计算——弯矩二次分配法	304
三	水平荷载作用下的内力近似计算（一）——反弯点法	306
四	水平荷载作用下的内力近似计算（二）——修正反弯点法（D值法）	315
五	水平荷载作用下的侧移计算	329
第六节	框架结构的内力组合和构件截面设计	337
一	最不利内力组合方法	337
二	梁、柱最不利内力组合	339
三	构件截面设计	341
四	框架的节点构造	345
第七节	剪力墙结构在水平荷载作用下的内力及位移计算	352
一	整体墙的内力及位移计算	353
二	小开口整体墙的内力及位移计算	356
三	双肢剪力墙的内力及位移计算	357
四	壁式框架的内力及位移计算	365
五	剪力墙的受力特点及其分类	367
第八节	剪力墙的截面强度计算及构造要求	371
一	矩形截面偏心受压（拉）单肢剪力墙的正截面强度计算	371
二	矩形截面偏心受压（拉）单肢剪力墙的斜截面强度计算	374
三	连系梁的截面强度计算	376
四	剪力墙截面的构造要求	377
第九节	框架 剪力墙、筒体结构的受力特点	379
一	框架-剪力墙结构的受力特点	379
二	筒体结构的受力特点	381
第十节	多层与高层房屋的基础类型及其选择	383
一	条形基础和十字形基础	383
二	片筏基础和箱形基础	383
三	桩基础	385
思考题		387
习 题		387

第十四章 房屋结构抗震设计要点	388
第一节 概述	388
第二节 地震强度和地震烈度	388
一 地震强度	388
二 地震烈度	389
第三节 抗震设计的基本原则	390
一 选择对抗震有利的场地和地基	390
二 合理城市规划, 避免地震时发生次生灾害	390
三 选择技术上经济上合理的抗震方案	391
四 保证结构整体性并使结构和联结部份有较好的延性	391
五 不做或少做地震时容易倒塌脱落的建筑附属物	391
六 减轻建筑物自重	391
七 保证施工质量	392
第四节 建筑场地和地基	392
一 工程地质条件对地震破坏的影响	392
二 场地土的分类	392
第五节 地震荷载的计算	393
一 什么叫地震荷载	393
二 结构计算简图的确定	394
三 地震荷载的计算	395
四 荷载组合和强度验算原则	398
第六节 多层砖房的抗震设计	398
一 震害及其分析	399
二 结构布置原则	401
三 多层砖房抗震构造措施	403
第七节 钢筋混凝土多层框架和框架-剪力墙结构的抗震设计	407
一 震害分析	407
二 结构选型	408
三 结构布置	409
四 抗震构造措施	411
参考文献	413

第十一章 预应力混凝土构件的计算

第一节 预应力混凝土的基本概念及一般计算规定

一、概念

一般的钢筋混凝土构件，如受弯构件，在使用荷载作用下受拉区要开裂，刚度降低，挠度较大。为了减少构件的裂缝与变形，有二种可能的方法：一种是增加构件的截面尺寸和用钢量；另一种是采用高标号混凝土和高强度钢筋。但前一种方法不经济，特别在荷载及跨度很大时不仅不经济，而且构件十分笨重，甚至是不可能的；而提高混凝土标号，其抗拉强度提高很少，对提高构件的抗裂度和刚度的效果不大。如果使用高强度钢筋，则钢筋达到屈服强度时的拉应变很大，约为 2.0×10^{-3} 以上，而混凝土极限拉应变仅为 $(0.1 \sim 0.15) \times 10^{-3}$ ，两者相差悬殊。所以，使用时不允许开裂的构件，受拉钢筋的应力仅为 $200 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ 。对允许出现裂缝的构件，在裂缝限制在 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 时，钢筋的应力也只能达到 $1500 \sim 2500 \text{ kg/cm}^2$ 左右。可见，在普通钢筋混凝土构件使用高强度钢筋是不能充分发挥作用的。

为了充分利用高强度材料，减少构件的裂缝宽度和变形，可以在混凝土构件的受拉区预先施加压力，使产生预压应力。当构件在荷载作用下产生拉应力时，首先要抵消混凝土的预压应力，随着荷载的增加，只有当拉应力超过混凝土预压应力时，构件才受拉或出现裂缝，因而可以推迟裂缝的出现，减少构件裂缝的宽度和变形，满足使用要求。这种在受荷以前预先对混凝土受拉区施加预压应力的结构称为“预应力混凝土结构”。

现以图11-1所示的预应力简支梁为例，说明预应力的基本原理。在构件受外荷之前，预先在梁的截面下边缘施加一

对大小相等、方向相反的偏心预压力 N_y ，使梁截面在受拉区(荷载作用后)的混凝土产生预压应力 σ_c (图11-1a)。在荷载(外荷及自重)作用下，截面下边缘将产生拉应力 σ_t (图11-1b)。那么，梁截面上的应力分布，应为上述两种情况的迭加，梁截面下边缘应力可能是压应力，或是很小的拉应力(图11-1c)。可以看出，

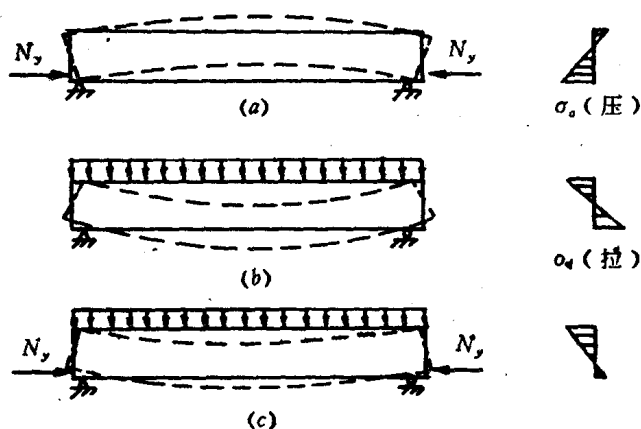


图 11-1 预应力梁的受力情况

(a) 预压力作用下；(b) 荷载作用下；(c) 预压力与荷载共同作用下

由于预压应力 σ_0 的作用，部分或全部抵消荷载引起的拉应力 σ_l ，因而延缓了混凝土构件的开裂，或构件不会出现裂缝。

图11-2为两根具有相同的材料标号、截面、配筋率及跨度的梁的荷载——挠度曲线对比图。其中一根为预应力梁，另一根为普通钢筋混凝土梁。从图中可以看到，预应力梁的开裂荷载 P_{fy} 大于钢筋混凝土梁的开裂荷载 P_f ；在使用荷载 P 的作用下，前者并未开裂而后者已开裂，且前者的挠度 f_y 小于后者的挠度 f 。

由上述可见，对构件施加预应力，能推迟裂缝的出现，提高构件的抗裂度和刚度，采用高强度材料，克服普通钢筋混凝土的主要缺点。取得节约材料，减轻自重的效果。从本质上改善了钢筋混凝土结构。

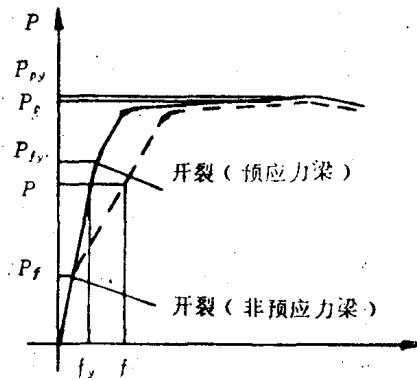


图 11-2 梁的荷载-挠度曲线对比图

二、预加应力的方法

预加应力是靠钢筋的回缩产生的，即预先将钢筋进行张拉，然后放松并锚固钢筋，钢筋回缩时将混凝土产生预压应力。根据在浇灌混凝土构件之前或后张拉钢筋的不同施工顺序，预加应力的方法可分为二种：

（一）先张法（在浇灌混凝土前张拉钢筋图11-3）

先在台座上张拉钢筋并作临时固定，然后浇灌混凝土，待混凝土到达一定强度后（为设计强度的70%以上），放松钢筋，钢筋在回缩时要挤压混凝土，使混凝土获得预压应力。所以预应力是靠钢筋与混凝土之间的粘结力来传递的。

先张法预应力构件施工时一般都需要台座、千斤顶、传力架和锚具等设备。台座承受张拉力的反力，形式有多种多样，固定台座长度往往很长。设计台座时应保证其具有足够的强度、刚度、无滑移和倾覆。有时构件尺寸较小，也可不用固定台座，而用钢模。千斤顶和承力架随构件的尺寸和形式、张拉力的大小不同而有不同的类型。先张法中应用的模具又称工作模具或称夹具，就是在张拉端夹住钢筋进行张拉的夹具及在两端临时固定钢筋的工具或模具，可以重复使用，其种类及形式也很多。

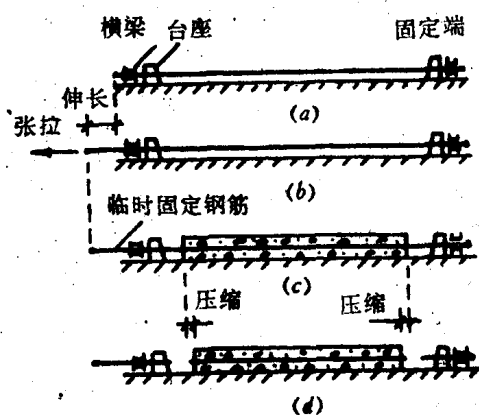


图 11-3 先张法主要工序示意图

(a) 钢筋就位；(b) 张拉钢筋；(c) 临时固定钢筋，浇灌混凝土并养护；(d) 放松钢筋，钢筋回缩、混凝土受预压

(二) 后张法 (混凝土结硬后在构件上张拉钢筋图11-4)

其施工顺序为先浇灌混凝土构件, 在构件中的预应力筋所在位置预留孔道, 待混凝土到达规定的强度后, 在孔道中穿钢筋, 利用构件本身作为台座, 张拉钢筋的同时混凝土同时受到挤压。张拉完毕, 在张拉端用锚具锚住钢筋, 并在孔道内压力灌浆。所以, 后张法是依靠锚具来传递和保持预应力的。

采用后张法, 有时不需千斤顶张拉钢筋, 而用电热法。即对钢筋通以电流, 钢筋受热而伸长, 锚固钢筋后切断电源, 钢筋冷却回缩, 即产生预应力。从上所述可知, 后张法的锚具十分重要, 它永远保留在构件上发挥传递和保持预应力的作用, 所以称为工作锚具。

先张法的生产工艺少、简单, 质量较易保证。先张法的锚具可多次重复使用, 使生产成本较低。台座的长度可以做得很长, 一次生产的构件的数量可以很多, 所以适合于工厂化或批生产中小型预应力构件。但台座及张拉设备的第一次投资费用较大, 且只能固定于一处, 不能移动。

后张法依靠构件本身作为台座, 构件可以在工厂预制, 也可以在现场施工, 适用于运输不便的大型预应力构件。但由于构件预应力是一个个地进行, 故操作较麻烦。同时锚具的耗钢量较大, 又不能重复使用, 且后张法预应力构件成本较高。

三、锚具

由上述已知, 锚具是后张法预应力混凝土构件中必不可少的重要工具和附件, 不仅依靠它建立预应力, 它又是永久依附在混凝土构件上来保持预应力的一种构造措施。所以必须重视锚具的设计和选用, 既要保证施工质量, 又要尽可能降低成本。

(一) 锚具的要求

设计、制作、选择和使用锚具时, 应尽可能满足下列要求: ①受力可靠; ②预应力损失小; ③构造简单, 便于机械加工制作; ④设备 (千斤顶等) 轻便简单, 张拉方便迅速; ⑤材料省 (耗钢量)。

(二) 锚具的形式

锚具的形式很多, 从不同角度来划分可有下面几种。

按所锚固的钢筋类型区分, 可分为锚固粗钢筋、锚固钢筋 (钢丝) 束及锚固钢绞线束等几种锚具。对于粗钢筋, 一般是一个锚具锚住一根钢筋。对于钢筋束或钢绞线, 则一个锚具须同时锚住若干根钢筋或钢绞线, 它们可排列成环形或矩形。显然, 由于锚固的钢筋根数和排列的不同, 锚具的形式和构造也将不同。

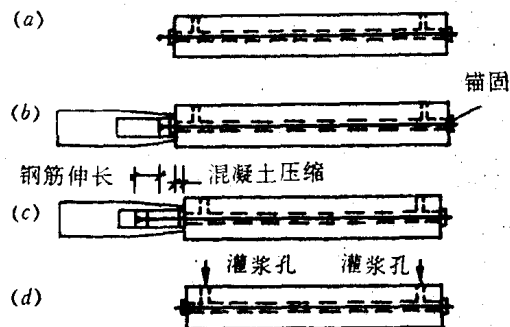


图 11-4 后张法主要工序示意图

- (a) 制作构件, 预留孔道, 穿入预应力钢筋;
(b) 安装千斤顶; (c) 张拉钢筋;
(d) 锚住钢筋, 拆除千斤顶, 孔道压力灌浆

按锚固钢筋（或钢丝）的传力方式来分，可分为依靠承压力的锚具、依靠摩擦力的锚具和依靠粘结力的锚具。实际上，一个锚具还由若干个零件组成，预应力钢筋与零件之间，零件与零件之间，零件与混凝土构件之间，还存在不同的传力特点。

按锚具的材料来区分。有钢制、混凝土制或由多种材料制成的锚具。

按锚具使用部位的不同，可分为张拉端和固定端的锚具两种。有的锚具既可用于拉张端，又可用于固定端。有的锚具当使用部位不同时，其构造有所差别。

不同形式的锚具需要配置不同形式的张拉设备，如千斤顶和承力架，这些张拉设备都有专门设计，并有特定的张拉工序和细节要求，供使用时参照。

（三）工程上常用的锚具

如前所述，锚具的形式有多种多样，但每种锚具只适用于某一种类型的钢筋，且每种锚具都需配置特定的张拉设备。所以，工程设计时，必须根据不同的结构所选用的不同类型钢筋以及施工力量选用不同形式的锚具。下面仅叙述工程常用的几种锚具，并着重叙述所适用的钢筋类型。

1. 螺丝端杆锚具

在单根预应力粗钢筋的两端各焊以一短段螺丝端杆，套以螺帽和垫板，即形成一种最简单的锚具。预拉力通过螺丝端杆上螺纹斜面上的承压力传到螺帽，再经过垫板承压在预留孔道口四周的构件混凝土上。

螺丝端杆用冷拉热处理45号钢制成。螺纹用细牙，端杆与预应力筋的焊接宜在预应力钢筋冷拉前进行，冷拉时等于检查焊接质量。

这种锚具可用于张拉端和锚固端，张拉时，采用一般千斤顶单根张拉，将千斤顶拉杆（端部带有内螺纹）拧紧在螺丝端杆的螺纹上，张拉完毕后，旋紧螺帽，钢筋就被锚住。这种螺丝端杆的张拉力可从数吨到数十吨。

2. JM12锚具

这是一种锚固3~6根直径为12mmⅡ、Ⅲ、Ⅳ级光面钢筋组成的互相平行放置的钢筋束，或者锚固5~6根由7φ4mm钢丝绞结成的钢绞线所组成互相平行的钢绞线束的锚具。

这种锚具由锚环及若干块夹片组成。夹片的块数与预应力钢筋或钢绞线的根数相同。夹片成楔形，其横截面成扇形。每一块夹片有两个圆弧槽，上有齿纹，以利于锚住预应力钢筋。

此种锚具的工作原理是预应力筋依靠摩擦力将预拉力传给夹片，夹片依靠斜面上的承压力将预拉力传给锚环。锚环通过承压力传给构件的混凝土构件。

这种锚具既可用于张拉端，也可用于锚固端。张拉钢筋时需用特制的双作用千斤顶。所谓双作用，即千斤顶工作时有两个同时的动作，其一是夹住钢筋进行张拉，其二是反方向将夹片顶进锚环，将预应力钢筋挤紧，锚住钢筋。

3. 弗列新涅（Freyssinet）锚具

这种锚具用于锚固多根直径为5、7、8、12mm的平行钢丝束，或者锚具多根直径为12、15mm的平行钢绞线束的。

锚具由锚环及锚塞组成，一般由铸钢制作，对于张拉力较小的预应力钢丝束（如12φ7以下），也可用高标号混凝土制作。

锚具的工作原理为预应力钢筋通过摩擦力将预拉力传到锚环，锚环再通过承压力和粘结力将预应力传到混凝土构件。

此种锚具可用于张拉端，也可用于固定端。张拉时也应采用双作用千斤顶，一方面张拉钢筋，一方面将锚塞推入挤紧。

4. 镦头锚具

这种锚具用于锚固多根直径为10~18mm的平行钢筋束，或者锚固18根以下直径5mm的平行钢丝束。

锚具由锚环、外螺帽、内螺帽和垫板等零件组成，均用45号钢制成。锚环上的孔洞数和间距均应和预应力钢筋（或钢丝）的根数和排列方式相适应。

施工时，将钢筋（钢丝）穿过锚环孔洞，用冷镦或热镦的方法将钢筋或钢丝的端头镦粗成圆头，由锚环卡紧。然后，将预应力钢筋连同锚环一起穿过构件的预留孔洞，待钢筋伸出孔道口后，套上外螺帽，千斤顶夹住外螺帽对钢筋进行张拉的同时，边拉边旋紧内螺帽。

张拉力依靠镦头的承压力传到锚环再依靠内螺帽的斜纹上的承压力传到螺帽，再传给垫板，由垫板传给混凝土构件。

镦头锚具要求钢筋或钢丝的下料长度有较高的精确度。

5. B. B. R. V锚具

这也是一种镦头锚具，可以锚固5~170根 $\phi 5 \sim \phi 6$ mm的高强度钢丝，构造及工作原理与上述的镦头锚具相似。这种锚具的张拉力可达1200吨，可用于如原子能压力容器等的大型构筑物或大型构件。

6. 后张自锚法锚具

在构件端头将预留孔道扩大为锥形孔。在张拉钢筋至规定的预应力值后，维持张拉力不变。然后马上在锥形孔内浇灌高标混凝土，形成一个自锚头。待自锚头混凝土达到设计强度后，放松（切断）预应力钢筋。依靠钢筋与混凝土的粘结力将预应力给锥形自锚混凝土，自锚混凝土再将预拉力传到构件混凝土上。

四、预应力混凝土的材料

（一）钢材

用于预应力混凝土的钢材有钢筋、钢丝和钢绞丝三大类，常用的有下列几种。

1. 冷拉低合金钢筋

目前，在我国预应力混凝土结构中较多应用的是冷拉Ⅳ级钢筋，其受拉设计强度可达7500kg/cm²。由于Ⅳ级钢的含硅量较高，对钢筋的焊接性能有影响，容易在钢筋焊接热影响区内发生断筋现象。为了解决粗钢筋的对焊问题，目前已有用热轨法生产出表面带螺纹的螺旋钢筋，可以用螺丝套筒（连接器）把钢筋接长，由于不用焊接接长钢筋，可以提高钢材的含碳量，减少合金元素，很适合于做成粗直径的高强钢筋。

粗钢筋可单根或将几根钢筋组成一束，放于预应力构件中。

2. 热处理钢筋

现阶段常用的为Ⅴ级热处理钢品种，有44锰2硅及45锰硅钒等品种，以盘圆形式供应。热处理钢筋是一种强度高（受拉设计强度为12000kg/cm²）松驰小的优质钢。应用时可省去冷

拉、对焊及整直等工序，可大大方便施工和保证质量。与相同强度的高强冷拔钢丝相比，这种钢材的生产效率高而价格较低，所以热处理钢筋是一种很有发展前途的钢种。

3. 冷拔低碳钢丝。

由前面材料一章已知，冷拔低碳钢丝是由盘圆的 I 级钢经过几道冷拔工序加工而成，常用的钢丝直径为 5、4、3 mm。

影响冷拔低钢丝强度的因素是多方面的，其中原材料（盘圆）的强度和引拔后的截面总压缩率^①是主要因素。盘圆强度高的拔制的钢丝强度也高，反之则低；在盘圆强度相近情况下冷拔后截面总压缩率大的，钢丝强度亦高，反之则低。

钢丝的伸长率是评定其质量的一个重要指标；影响伸长率的因素是多种多样的，但它总是随截面总压缩率的增大而降低，一般经第一道冷拔后，伸长率降低 60~80%。

冷拔低碳钢丝分为甲、乙两级，用作预应力筋时，需按照有关规定的钢丝标准强度逐盘进行检验，其设计强度按甲级采用；乙级冷拔低碳钢丝仅按要求分批检验，主要用作焊接骨架、焊接网及箍筋。

用同一规格的盘圆拔制不同直径的钢丝，其抗拉强度随其直径减小而提高。因此，规范冷拔低碳钢丝按 $\phi 5$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 3$ 三种直径分别给以各自的抗拉设计强度（6000~7500 kg/cm²），并分为 I、II 两组，设计时必须根据本地区实际情况加以选择。

4. 高强度钢丝和钢绞线

这种钢材是用高碳镇静钢轧制成盘圆后经过多道冷拔而成，直径有 2.5~5.0 mm，强度随其直径越细而越高，抗拉设计强度可达 12000~15000 kg/cm²。由于经过冷拔后钢丝表面甚为平滑，高强钢丝与混凝土粘结强度较低，为了解决这一问题，目前采用在钢丝表面刻痕成为刻痕钢丝，或把几根钢丝绞织在一起成钢绞线。钢绞线常用的规格有 3 股、7 股、19 股等，其中以 7 股用得最多。近年来还研制“模拔成型”处理的钢绞线，即对钢绞线再一次通过拉模孔进行冷拔，使每根钢丝在接触线处被压偏，从而减少了内部空隙。经过这种处理的钢绞线的强度提高了 20% 左右，与锚具接触的周边实面积增加了，在后张法预应力混凝土中易于锚固；但在先张法中，由于绞线模拔后内部空隙减少，与混凝土的实际接触面积随之减小，它们之间的粘结力有所降低，因而较少采用。

钢筋、钢丝及钢绞线各有其优缺点。高强钢丝的强度高；钢绞线的强度接近于钢丝，但价格昂贵。钢筋的强度较低，耗钢量必然增大，但价格便宜。钢筋和钢绞线的直径大，每个构件所用根数少，方便施工。钢丝线的锚具价格较高，但钢筋束线或钢绞线束的长度越增加，锚具费用在整个构件造价中所占的比例越会降低。钢丝或钢绞线的长度可以很长，特别适合于较长的预应力构件中。钢筋的长度有限，有时需拼接接长，可用焊接或用套筒连接器。

综上所述，在选择钢材时，需综合考虑上述各因素，要根据构件的规模，当时当地的材料供应及施工力量实际情况合理选择。目前，由于冷拔低碳钢丝的原材料（I 级钢）来源充足广泛，且冷加工工艺及设备简单，故在各地的中小型预应力构件中得到广泛的应用。

钢筋、钢丝及钢绞线的设计强度，标准强度及其它力学性能，可详见表 1-3~1-4。

① 冷拔压缩率 = $\frac{D_0^2 - D^2}{D_0^2}$ %，式中 D_0 为圆盘直径， D 为成品钢丝直径。

(二) 混凝土

预应力构件对混凝土的要求首先是强度高,因为高强度混凝土配以高强度钢材可以有效地减小构件截面尺寸和减轻自重。对强度的要求在先张法构件中尤为重要,因为钢筋与混凝土的粘结强度一般是随混凝土的标号的增加而增加的,所以在预应力混凝土中,混凝土标号一般不低于300号,用高碳钢丝或钢绞线作预应力筋的结构,特别是大跨度结构,一般不低于400号。其次,要求混凝土快硬,早强,这样可以尽早施加预应力,加快施工进度。另外,还要求混凝土的徐变及收缩要小,以减少预应力的损失。

五、张拉控制应力

所谓张拉控制应力是指在张拉预应力钢筋时控制其达到的应力,用 σ_k 表示,相应这一应力时的总张拉力可直接由拉伸机的测力仪表控制。换句话说,张拉控制应力可由拉伸仪表所表示的总张拉力除以预应力钢筋面积所得到的应力值。

一般来说,张拉控制应力高一些,有效预应力值(扣除各种损失后的实际该应力值)就可以高一些,那么,构件所受到的预压应力就可以大一些,可以提高构件的抗裂能力和减小其挠度。这是有利的一方面。

但事物总是相对的,提高张拉控制应力,有其有利的一面,但如过高,则可能出现不利的方面。首先由于钢材材质的不均匀性,钢筋强度表现出较大的离散性。由前所述,现行《规范》中钢材设计强度即屈服强度取值的保证率只有97.73%,即必然有一些钢筋的强度低于规范规定的设计强度,尤其是下面将要讨论的为了减少由于钢筋的松弛引起的损失,往往需要进行超张拉。所以,如果把 σ_k 定得太高,在张拉钢筋时,个别钢筋可能达到或超过其实际屈服强度,对于没有明显屈服点的硬钢,甚至可能断裂。其次,如果 σ_k 定得太高,构件的开裂弯矩太接近于其破坏的弯矩,即构件在开裂前变形很小,构件一旦开裂,很快就出现塑性铰,马上临近破坏,使构件在破坏前没有明显的预兆,表现了构件脆性破坏的特征,特别是对于没有明显流幅的硬钢,这一现象更为严重,所以预应力钢筋的张拉应力应加以控制。

σ_k 的大小主要与预应力钢筋的钢种及预加应力的方法有关。冷拉热轧钢筋的塑性较好,到达屈服强度后有较长的流幅,所以 σ_k 可以定得高一些;钢筋和钢绞线没有明显的屈服台阶, σ_k 就定得低一些。先张法的张拉力先由台座承担,当放松预应力钢筋时,构件受到预应力的作用而将产生弹性压缩,钢筋回缩,张拉应力将减少;但后张法直接在构件上进行张拉,张拉钢筋的同时,构件的弹性压缩已经完成,即预应力不必扣除由于构件的弹性压缩引起的损失。因此,当 σ_k 相同时,后张法构件中钢筋的实际应力值就比先张法构件的为高。为此,后张法构件的 σ_k 可以定低一点。

《规范》规定在一般情况下,张拉控制应力 σ_k 不宜超过表11-1所列的数值。

对下列两种情况,表11-1所列规定的控制应力值允许提高0.05 R_y :

1. 为了提高构件在制作、运输及吊装阶段的抗裂度,而设置在使用阶段受压区的预应力筋;

2. 为了减少由于应力松弛、与孔道的摩擦、施工时钢筋的分批张拉及预应力钢筋与台座之间由于温度差等因素引起的预应力损失。

同时,《规范》还规定张拉控制应力的下限值,即钢丝和钢绞线的 σ_k 不应少于 $0.4R_y^b$ 。
冷拉热轧钢筋不少于 $0.5R_y^b$ 。

张拉控制应力 σ_k (kg/cm²)

表 11-1

项 次	钢 种	张 拉 方 法	
		先 张 法	后 张 法
1	钢丝、钢绞线	$0.7R_y^b$	$0.65R_y^b$
2	冷拉热轧钢筋	$0.9R_y^b$	$0.85R_y^b$

六、预应力损失

由于施工工艺及材料特性等各种原因,使预应力钢筋的张拉应力从张拉开始直到构件安装使用都在不断降低。正确认识和计算预应力损失值是十分重要的,预应力混凝土早在19世纪末已开始研究,但开始时构件的变形和裂缝开展总是达不到预期的效果,长期失败的主要原因就在于对预应力的损失缺乏正确的认识,尤其对混凝土的收缩、徐变引起的预应力损失认识不足。另方面是当时钢筋强度不高,预应力钢筋的张拉控制应力受到限制,经各项预应力损失后,钢筋中保留的有效预应力很低,不能起到较大的效果。直至20世纪30年代,随着材料工业的发展,法国工程师弗列新涅(Frey-ssinet)在总结前人成功与失败经验教训的基础上,经多年研究,终于使预应力混凝土理论趋于成熟并开始应用于工程上。

引起预应力损失的因素有很多方面,下面分项讨论引起预应力损失的原因,损失值的计算方法及减少预应力损失的各项措施。

(一) 各种原因引起的预应力损失

1. 张拉端锚具变形引起的预应力损失 σ_{s1}

先张法在台座上临时锚固钢筋时及后张法钢筋张拉完毕用锚具在构件上锚固时,由于钢筋回缩产生强大的压应力作用,锚具与构件之间、垫板与构件之间、锚具与垫板之间的所有缝隙被挤压紧,引起钢筋的回缩;或由于钢筋、钢丝、钢绞线在锚具内的滑移而引起长度的缩短,都引起预应力损失。

锚具的预应力损失可按下式计算,即

$$\sigma_{s1} = \frac{\lambda}{l} E_s \quad (11-1)$$

式中 λ ——张拉端锚具的变形值,以mm计,按表11-2取用;

l ——张拉端至固定端的距离,以mm计;

E_s ——预应力钢筋的弹性模量,按表1-3~1-4取用。

锚 具 变 形 值 λ (mm)

表 11-2

项 次	锚 具 类 别	锚具变形值 λ
1	带螺帽的锚具 (包括钢丝束的锥形螺杆锚具、筒式锚具、后张自锚锚具等)	1
	螺帽缝隙 每块后加垫板的缝隙	1
2	钢丝束的镦头锚具	1
3	钢丝束的钢制锥形锚具	3
4	JM12锚具, 当预应力钢筋为钢筋时	2
	当预应力钢筋为钢绞线时	3
5	单根冷拔低碳钢丝的锥形锚具	5

锚具的变形损失只考虑张拉端, 因为锚固端的锚具在张拉钢筋的过程中已被挤紧。由块体拼装的构件, 应考虑块体间填缝的预压变形损失, 如用混凝土或砂浆作为填缝材料时, 每条填缝的预压变形值取为 1 mm。

减少锚具变形造成的预应力损失的方法是尽量少用垫块及增长台座。

2. 预应力钢筋与孔道壁之间的摩擦引起的预应力损失 σ_{s2}

根据配筋形式, 后张法预应力钢筋的预留孔, 可以为直线或曲线形。由于施工时孔道壁将有接触, 钢筋张拉时将产生与孔壁产生与拉力方向相反的摩擦力。如为曲线形孔道, 钢筋张拉时贴紧孔道壁, 摩擦会更大。这种摩擦力由于积累的影响, 离开张拉端越远, 影响越大。从而使构件每一截面上的实际预应力随远离张拉端而逐渐减少, 这种应力差额称为摩擦损失, (图11-5), 以 σ_{s2} 表示, 按下式计算:

$$\sigma_{s2} = \sigma_k \left(1 - \frac{1}{e^{\kappa x + \mu \theta}} \right) \quad (11-2)$$

式中 κ ——考虑孔道 (每m) 局部偏差对摩擦的影响系数; 按表11-3取用;

x ——从张拉端至计算截面的孔道长度 (以m计), 亦可近似地取该段孔道在纵轴上的投影长度;

μ ——钢筋与孔道壁的摩擦系数, 按表11-3取用;

θ ——从张拉端至计算截面曲线孔道部分切线的夹角 (以弧度计)。

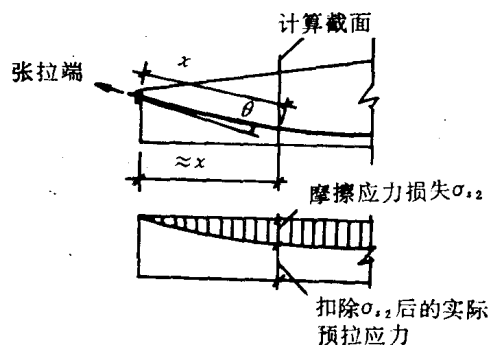


图 11-5 摩擦引起的预应力损失

系数 κ 及 μ 值

表11-3

项次	孔道成型方式	κ	μ	
			钢丝束、钢绞线、光面钢筋	螺纹钢筋
1	预埋薄铁管	0.003	0.35	0.40
2	钢管抽芯成型	0	0.55	0.60
3	充压橡皮管抽芯成型	0.0015	0.55	0.60

对钢管抽芯成型或充压橡皮管抽芯成型的孔道，当 θ 不大于 30° 时，可按下列近似公式计算应力损失值。

$$\text{钢管抽芯成型} \quad \sigma_{s2} = \frac{\sigma_k}{100} \times 0.9\theta \quad (11-3)$$

$$\text{充压橡皮管抽芯成型} \quad \sigma_{s2} = \frac{\sigma_k}{100} (0.9\theta + 0.15x) \quad (11-4)$$

式(11-3)、(11-4)中的 θ 以角度计算。

为了减少摩擦损失，可以采取下列措施：

(1)对较长的构件可采用两端张拉，如图11-6a、b，从图中可以看出，两端张拉时可减少一半损失。

(2)采用超张拉工艺。超张拉工艺程序为：

$$\sigma_k = 0 \rightarrow 1.1\sigma_k \xrightarrow{\text{持荷 2 分钟}} 0.85\sigma_k \rightarrow \sigma_k$$

如图11-6c。从图可以看出，当A端临时张拉应力到达 $1.1\sigma_k$ 时，由于摩擦力的影响，钢筋中的预应力将沿EHD分布。当张拉应力降至 $0.85\sigma_k$ 时，钢筋放松回缩，由于孔道与钢筋之间同样产生与钢筋回缩方向相反的摩擦力，使钢筋的预张力随离A点越远而增加，直至与原有的EHD线相交时为止，因此在这一回程中，预应力将沿FGHD分布。同理，当张拉端A再次拉至 σ_k 时，则钢筋中的应力将沿CGHD分布，显然图11-6c所建立的预应力，比图11-6a的要均匀些，也就是说预应力损失要少些。

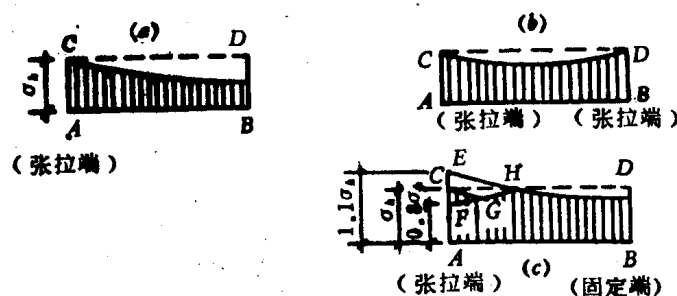


图 11-6 一端张拉、二端张拉及超张拉减少预应力损失